Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 435-445

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۴۴۵-۴۳۵

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی برخی از عامل‌های انرژی و اکسرژی در طی عملیات حرارت‌دهی اهمیک آب‌نارنج

محمد واحدی ترشیزی[1]، محسن آزادبخت[2]*، مهدی کاشانی نژاد[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۶

چکیده

مواد غذایی از ترکیبات مختلفی تشکیل‌شده‌اند و بعد از مدتی عمر مفید خود را از دست می‌دهند و یکی از روش‌های افزایش ماندگاری مواد غذایی فرآیند حرارتی می‌باشد، ازاین‌رو در این تحقیق یک دستگاه گرمایش اهمیک ساخته شد تا فرآیند حرارت‌دهی انجام شود. در این فرآیند سه گرادیان ولتاژ ورودی ($V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳، ۱۰/۸۳ و ۱۳/۳۳) و سه درصد کاهش وزن نمونه (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد) نسبت به وزن کل انتخاب گردید. طی فرآیند حرارتی روند بازده انرژی، بازده اکسرژی، اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود بررسی شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت و نتایج با استفاده از نرم‌افزار SAS برای بررسی آماری در آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بیشترین مقدار بازده انرژی و اکسرژی در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۱۳/۳۳و برای پتانسیل بهبود و اکسرژی تلف‌شده در گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ می‌باشد. بیشترین بازده انرژی ۹۱/۱۶٪ در درصد کاهش وزن ۱۰٪ و برای بازده اکسرژی ۵۹/۵۱٪ در درصد کاهش وزن ۳۰٪ بوده است و بیشترین مقدار اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود در درصد کاهش وزن ۳۰٪ و به‌ترتیب kW ۶/۷۶ و ۵/۶۲۴ بوده است.

واژه‌های کلیدی: انرژی و اکسرژی، آب‌نارنج، تحلیل آماری، فرآیند اهمیک

مقدمه

مواد غذایی از ترکیبات مختلفی تشکیل‌شده‌اند که وقتی عمر مفید خود را از دست می‌دهند برای مصرف نامناسب می‌شوند و اتمام عمر مفید منجر به ایجاد برخی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در مواد غذایی می‌شود و باکتری‌ها به‌طرز شگفت‌انگیزی افزایش می‌یابند که باعث می‌گردد مواد غذایی فرآوری نشده در طی مدت کوتاهی از بین بروند (Tull, 1996). از دست دادن کیفیت بسیار وابسته به نوع غذا، ترکیب آن، فرمولاسیون، بسته‌بندی و شرایط ذخیره‌سازی است. اساساً اثرات مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی و میکروبی علل اصلی خراب شدن مواد غذایی و خراب‌کاری هستند (Moreno *et al*., 2011). اهداف اصلی فرآیند حرارتی متعارف برای اطمینان از سلامت میکروبیولوژیک، افزایش عمر مفید مواد غذایی از طریق تخریب آنزیم‌ها، سموم و غیره است. علی‌رغم اثربخشی فن‌آوری‌های سنتی از دیدگاه ایمنی میکروبی، آن‌ها سبب کاهش حساسیت و فواید مثبت تغذیه‌ای می‌شوند (Varghese *et al*., 2012). بنابراین فرآیند محصولات غذایی کشاورزی ضروری است. در سال‌های اخیر، فناوری‌های جایگزین از جنبه‌های صنعتی و مصرف‌کننده در سراسر جهان اهمیت یافته‌اند. با کاهش انرژی مصرفی هدررفته در صنعت و مصارف صنعتی، برخی از مشکلات مانند منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی برطرف می‌شود؛ همچنین این نتیجه، ارزش اقتصادی بیشتری برای آن کشور فراهم خواهد کرد. ازاین‌رو محققان برای غلبه بر تمام این مشکلات، متمرکز بر تکنولوژی‌های جایگزین در فرآیند صنعتی هستند که تیمارهای الکتریکی نقش مهمی در روش‌های متداول در تکنولوژی مواد غذایی بازی می‌کنند. فرآیند اهمیک یک روش الکتریکی حرارتی است که بر مبنای عبور جریان الکتریسیته از طریق یک محصول می‌باشد که به‌عنوان مقاومت الکتریکی عمل می‌کند (Bozkurt and Icier, 2010). فرآیند اهمیک به‌عنوان فرآیندی تعریف می‌شود که در آن جریان الکتریکی از بین بافت ماده غذایی به‌منظور حرارت‌دهی آن، عبور داده می‌شود. طی این عمل انرژی الکتریکی به حرارت تبدیل‌شده و درنتیجه حرارت‌دهی به‌صورت سریع و یکنواخت اتفاق می‌افتد (Cokgezme *et al*., 2017). این روش کاربردهای مختلفی در صنعت غذا دارد که از مزایای آن می‌توان به کنترل آسان، بهره‌وری منابع انرژی، حفظ بهتر ویتامین‌ها و قیمت مناسب آن در مقایسه با فرآیندهایی مثل ماکروویو اشاره نمود. ازاین‌رو برای مواد مایع حاوی ذرات، به دلیل گرم شدن هم‌زمان با مایع و حتی سریع‌تر بسیار مفید و کارآمد می‌باشد. انرژی گرمایی تولیدشده به قدرت میدان الکتریکی مورد استفاده و هدایت الکتریکی بستگی دارد که نکته مهم در استفاده ازاین روش آن است که آلودگی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲- دانشیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- استاد، گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: azadbakht@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.80760

زیست‌محیطی بر جای نمی‌گذارد و مقاومت الکتریکی می‌تواند باعث تشدید حرارت و انتقال جرم شود (Darvishi *et al*., 2011; Moreno *et al*., 2016). با توجه به این‌که انرژی عامل اصلی در تلاش‌های کلی برای دستیابی به توسعه پایدار است و فرآیندهای حرارت‌دهی ۱۲ درصد کل مصرف انرژی در صنایع غذایی را شامل می‌شود که هزینه فرآیند حرارت‌دهی می‌تواند به ۶۰ تا ۷۰ درصد کل هزینه برسد، بنابراین، محققان و مهندسان برای کاهش حداکثر انرژی و افزایش بهره‌وری تجزیه‌وتحلیل مهندسی سیستم‌ها را ضروری می‌دانند. تجزیه‌وتحلیل انرژی به‌صورت کلی هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد میزان انرژی مصرفی مفید دستگاه ارائه نمی‌دهد و بنابراین برای طراحی پایدار یا اهداف بهینه‌سازی بی‌فایده است، ازاین‌رو در قانون دوم ترمودینامیک اکسرژی به‌عنوان یک مقدار کمی از کیفیت انرژی و یا حداکثر کار مفید در طول فرآیند بوده که برای طراحی‌ها سیستم‌ها نیاز می‌باشد (Aghbashlo *et al*., 2013; Hepbasli 2008). انرژی مورداستفاده در فرآیند خشک‌کردن و حرارت‌دهی برای فرآیندهای تولید در بخش‌های صنعتی و خانگی اهمیت دارد. بااین‌حال، قیمت این انرژی بسیار گران است بنابراین، انگیزه قوی برای ایجاد فرآیندهایی است که از انرژی به‌صورت مؤثر استفاده می‌کنند. در حال حاضر فرآیندهای حرارت‌دهی که به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار می‌گیرند پیچیده و ناکارآمد هستند و معمولاً به محیط‌زیست آسیب می‌رسانند. بنابراین، لازم است که روشی ساده و ارزان‌قیمت که در طیف وسیعی از شرایط قابل تعدیل باشد، مورد استفاده قرار گیرد (Boldaji *et al*., 2017; Jindarat, *et al*., 2011).

در تجزیه‌وتحلیل اکسرژی، هدف اصلی این است که محل و مقدار تولید برگشت‌ناپذیری در طی فرآیندهای مختلف چرخه ترمودینامیکی و عوامل مؤثر بر تولید این برگشت‌ناپذیری، تعیین گردد، به‌این‌ترتیب، علاوه بر ارزیابی عملکرد اجزای مختلف چرخه ترمودینامیکی، روش‌هایی برای افزایش کارایی چرخه نیز شناسایی می‌شوند (Mokhtarian *et al*., 2016; Azadbakht *et al*., 2018).

محققین زیادی درباره انرژی و اکسرژی فرآیندهای حرارتی آزمایش‌هایی را انجام دادند:

گروهی از پژوهشگران به بررسی انرژی مصرفی در سیستم گرمایش اهمیک آب‌پرتقال پرداختند و بیان کردند که با افزایش گرادیان ولتاژ میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد (Icier and Ilicali, 2005).

همچنین جمعی از محققین اثر نوع الکترود در طی فرآیند گرمایش اهمی بر روی غذاهای جامد را مورد بررسی قرار دادند که مشخص گردید نوع الکترود اثر زیادی بر راندمان حرارتی، انرژی مصرفی و مدت‌زمان فرآیند گرمایش اهمی دارد (Zell *et al*., 2011).

همین‌طور محققی بر روی راندمان حرارتی سیستم گرمایش اهمی بر روی محصول whey solutions آزمایشی را انجام دادن که مشخص شد، راندمان این سیستم در محدوده ۰/۵۲ تا ۰/۹۲ می‌باشد (Icier, 2009).

گروه دیگری از محققان در پژوهشی در یک سیستم گرمایش اهمیک بر روی Ground lean beef آزمایشی انجام دادند که در این آزمایش تأثیر تغییرات گرادیان ولتاژ را بر روی بازده انرژی، اکسرژی و پتانسیل بهبود مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که بازده انرژی و اکسرژی با افزایش گرادیان ولتاژ افزایش‌یافته است (Bozkurt and Icier, 2010).

همچنین محققانی انرژی مصرفی و اکسرژی سیستم گرمایش اهمی برای فرآوری گوشت بررسی کردند. آن‌ها بیان کردند که گرادیان ولتاژ اثر معنی‌داری بر میزان مصرف انرژی دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش گرادیان ولتاژ از ۲۰ $V\ cm^{-1}$ به ۴۰ باعث افزایش بازده انرژی از ۶۹٪ به ۹۱٪ و افزایش بازده اکسرژی از ۶۳٪ به ۸۲٪ می‌گردد (Bozkurt and Icier, 2009).

گروهی دیگری از محققین بر روی انرژی و اکسرژی تولید گوجه‌فرنگی در طی حرارت‌دهی اهمیک آزمایشی را انجام دادند که نتیجه این آزمایش نشان داد که بازده انرژی و انرژی تلف‌شده ویژه با افزایش میزان گرادیان ولتاژ و کوتاه‌تر کردن فرآیند افزایش می‌یابد. همچنین در یک ولتاژ ثابت با افزایش مدت‌زمان حرارت‌دهی اهمیک میزان بازده اکسرژی و اکسرژی تلف‌شده افزایش‌یافته است (Darvishi *et al*., 2015).

همچنین چند محقق بر روی بازده انرژی و انرژی مصرفی پختن گوشت با استفاده از روش اهمیک گزارش کردند که استفاده از این روش بازده انرژی ۹۲ درصدی داشته و می‌تواند به میزان ۸۲ درصد انرژی مصرفی را برای پختن گوشت کاهش دهد (Halleux *et al*., 2005).

با توجه به این‌که معمول‌ترین روش جهت سالم‌سازی آب نارنج، روش حرارت‌دهی است باید بتوان روشی را مورد استفاده قرار داد که علاوه بر حفظ خصوصیات کیفی محصول، پارامترهای خود سیستم حرارت‌دهی مانند ولتاژ، مدت زمان حرارت‌دهی و غیره در بهترین حالت باشد که یافتن این فاکتورها نیاز به بررسی دارد، بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر ولتاژ و درصد کاهش وزن آب نارنج بر روی عامل‌های انرژی و اکسرژی عملیات حرارت‌دهی اهمیک می‌باشد. همچنین در منابع پیشین با این روش حرارتی تحقیقی بر روی آب نارنج انجام نشده است. و بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف از این بررسی تاثیر فاکتورهای بیان شده بر انرژی و اکسرژی طی فرآیند اهمیک بوده است.

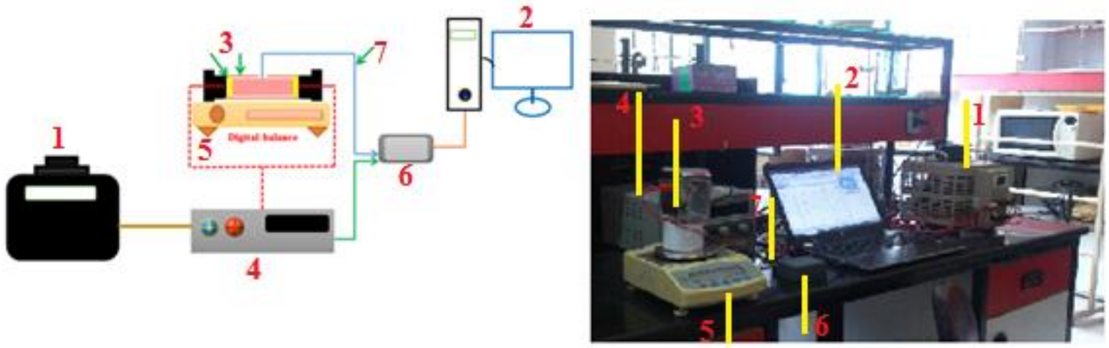
مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه

نارنج‌ها از یک باغ واقع در شهرستان گرگان، استان گلستان خریداری شد. نارنج‌های تهیه‌شده شسته و از وسط به دونیم تقسیم شد و در یک شرایط یکسان برای تمام نمونه‌ها آب‌گیری به‌صورت دستی انجام شد و پس از استخراج به‌منظور جداسازی ذرات معلق پالپ و اجزای بافت، عصاره‌ی میوه از صافی با مش ۱۷۰ عبور داده شد.

روش انجام آزمایش

برای انجام این آزمایش، یک مخزن (از جنس پلاستیک‌های ترموست) در نظر گرفته شد که نمونه‌ها درون این مخزن و بین دو الکترود ریخته شده و دمای اولیه آن‌ها ثبت گردید. تمامی نمونه‌ها با وزن ورودی ۹۰ گرم انتخاب شد و بعد از ثبت دمایی ولتاژ به مجموعه واردشده و نمونه‌ها گرم شدند. برای انجام فرآیند حرارت‌دهی سه گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ V cm^{-1}، ۱۰/۸۳ و ۱۳/۳۳ انتخاب شد و سعی گردید با استفاده از این گرادیان ولتاژها، حدود ۱۰ (از ۹۰ گرم به ۸۱ گرم)، ۲۰ (از ۹۰ گرم به ۷۲ گرم) و ۳۰ (از ۹۰ گرم به ۶۳ گرم) درصد از وزن کل نمونه‌های آب‌نارنج درون سلول طی فرآیند حرارتی بخار گردد. در شکل ۱ شماتیک فرآیند حرارت‌دهی و اجزای سیستم نشان داده‌شده است.



شکل ۱– شماتیک تجهیزات استفاده‌شده برای فرآیند حرارت‌دهی اهمیک

۱– مبدل متغیر (رگولاتور)، ۲– لپ‌تاپ، ۳– سلول اهمیک، ۴– پاور آنالیزر، ۵– ترازو، ۶–کنترل پنل، ۷– ترموکوپل

Fig.1. Schematic of equipment used for the ohmic heating process

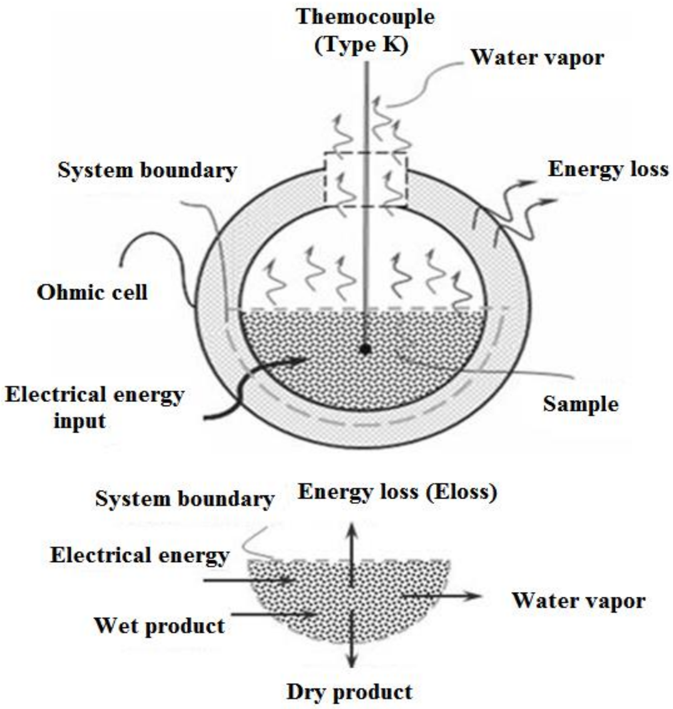
1- Variable transformer, 2- Laptop, 3- Ohmic cell, 4- Power analyzer, 5- Scale, 6- Control panel, 7-Thermocouple

آزمایش‌ها در یک سیستم گرمایش اهمیک ساکن انجام شد. سیستم استفاده‌شده شامل یک سلول از جنس پلاستیک فشرده و شفاف (طول ۶ cm عرض ۶ cm ارتفاع ۳ cm ضخامت دیواره سلول ۰/۳ cm)، الکترود از جنس استیل ضدزنگ (ضخامت ۰/۱ cm) و فاصله بین دو الکترود ۶ cm و از یک Variable Transformer که وظیفه ایجاد ولتاژهای مختلف را دارد، استفاده شد (3 kW, 0-300 V, 50 Hz, MST-3, Toyo, Japan)، پاور آنالیزر (Lutron DW-6090) نیز وظیفه بررسی و کنترل نحوه رفتار انرژی سیستم را بر عهده داشت. از یک سنسور دما ضد آب LM35DZ دارای پرآب استیل ضد زنگ جهت اندازه‌گیری دمای نمونه و یک کامپیوتر برای ذخیره داده‌ها استفاده شده است. برای اندازه‌گیری تغییرات وزن در طی فرآیند حرارتی از یک ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده گردید. تمامی آزمایش‌ها در گروه مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد.

آنالیز انرژی

پایستگی جرم و انرژی برای کنترل حجم (سلول اهمیک) گرمایش اهمیک در شکل ۲ نشان داده‌شده است. معادله عمومی پایستگی جرم را می‌توان در رابطه (۱) بیان کرد:

$$\sum_{m_{in}=m_{ew}+m_P} m_{in} = \sum m_{out} \qquad (۱)$$



شکل ۲- کنترل حجم سیستم گرمایش اهمیک (Darvishi *et al*., 2015)

Fig.2. Volume control of the Ohmic heating system

انرژی تعادل عمومی را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) بیان کرد که انرژی ورودی برابر با انرژی خروجی می‌باشد (Darvishi *et al*., 2018; Darvishi *et al*., 2015):

$$\sum E_{in} = \sum E_{out}$$

$$(mC_PT)_{in} + E_{electrical} = (mC_PT)_P + m_{ew}\lambda_{wp} + E_{Loss} \quad (۲)$$

گرمای نهان محصول با استفاده از رابطه (۳) و گرمای نهان آب با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد (Abdelmotaleb *et al*., 2009; Sharqawy *et al*., 2010).

$$\frac{\lambda_{wp}}{\lambda_w} = 1 + 23 \times \exp(-40m_t) \quad M \geq 0.9\left(\frac{\text{kg Water}}{\text{kg dry matter}}\right) \quad (۳)$$

$$\lambda_w = 3.217 \times 10^6 - 2.631 \times 10^3 T - 2.40T^2 + 1.460 \times 10^{-2}T^3 - 2.079 \times 10^{-5}T^4 \quad 273 \leq T \leq 473\,K \quad (۴)$$

ظرفیت گرمایی با استفاده از مدل Siebel's محاسبه شد (Heldman and Moraru, 2014):

$$C_P = 0.71 + 3.393 \times \frac{M_t}{1 + M_t} \quad (۵)$$

انرژی داده‌شده به سیستم با استفاده از جریان ورودی و ولتاژ داده‌شده به نمونه‌ها ثبت شد و طبق رابطه (۶) محاسبه شد (Darvishi *et al*., 2015).

$$E_{electrical} = \int_0^t (V \times I)dt \quad (۶)$$

بازده انرژی سیستم گرمایش اهمیک با استفاده از رابطه (۷) محاسبه شد (Darvishi *et al*., 2015):

$$\eta_{en} = \frac{(mC_PT)_P + m_{ew}\lambda_{wp}}{(mC_PT)_{in} + E_{electrical}} \quad (۷)$$

آنالیز اکسرژی

در محدوده آنالیز اکسرژی ورودی، اکسرژی خروجی و تلف‌شده سیستم گرمایش اهمیک مورد بررسی قرار گرفت. عموماً معادله اکسرژی کل سیستم‌های گرمایش با استفاده از رابطه (۸) توضیح داده می‌شود:

$$\sum EX_{in} = \sum EX_{out}$$

$$m_{in}ex_{in} + E_{electrical} = m_P ex_P + m_{ew}ex_{ew} + EX_{Loss} \quad (۸)$$

اکسرژی تلف‌شده با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد (Azadbakht *et al*., 2017).

$$ex_{loss} = EX_{in} - EX_{out} \quad (۹)$$

اجزای اکسرژی در ورودی و خروجی سیستم گرمایش اهمیک با استفاده از رابطه (۱۰) محاسبه شد (Darvishi *et al.*, 2015).

$$ex = C_P\left[(T - T_\infty) - T_\infty \ln(\frac{T}{T_\infty})\right] \qquad (۱۰)$$

بازده اکسرژی سیستم اهمیک را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه کرد (Darvishi *et al.*, 2015):

$$\eta_{ex} = (\frac{m_P ex_P + m_{ew} ex_{ew}}{m_{in} ex_{in} + E_{electrical}}) \times 100 \qquad (۱۱)$$

Van Gool (۱۹۹۷) پیشنهاد کرد که حداکثر به‌سازی در بازده اکسرژی یک فرآیند یا سیستم زمانی به‌دست می‌آید که اکسرژی تلف‌شده یا غیرقابل‌بازگشت به کمترین میزان خود برسد. پیشنهاد شد که از مفهوم "پتانسیل به‌سازی" در تجزیه‌وتحلیل فرآیندها یا بخش‌های مختلف اقتصاد استفاده شود و این پتانسیل بهبود در فرم ارزیابی توسط Hammond and Stapleton داده شد (Hammond and Stapleton, 2001)

$$IP = (1 - \eta_{ex}) \times (EX_{in} - EX_{out}) \qquad (۱۲)$$

آنالیز آماری

نمونه‌های آزمایش در سه گرادیان ولتاژ ۸/۳۳، ۱۰/۸۳ و ۱۳/۳۳ $V\ cm^{-1}$ تا زمانی‌که ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از وزن کل نمونه کاهش یابد، قرار گرفتند و بازده انرژی، بازده اکسرژی، اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود محاسبه شد. تمامی آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گرفت و نتایج با استفاده از آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تحلیل شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز واریانس برای تأثیر گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی بازده انرژی، بازده اکسرژی، اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج نشان داده‌شده می‌توان بیان کرد که فاکتورهای گرادیان ولتاژ و درصدهای کاهش وزن بر روی بازده انرژی، بازده اکسرژی، اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است. همچنین اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن نیز برای تمامی فاکتورها در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و با توجه به معنی‌دار شدن اثر متقابل اقدام به انجام آزمون LSD گردید که نتایج در شکل ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده‌شده است.

جدول ۱- آنالیز واریانس بازده انرژی، بازده اکسرژی، اکسرژی تلف‌شده و پتانسیل بهبود

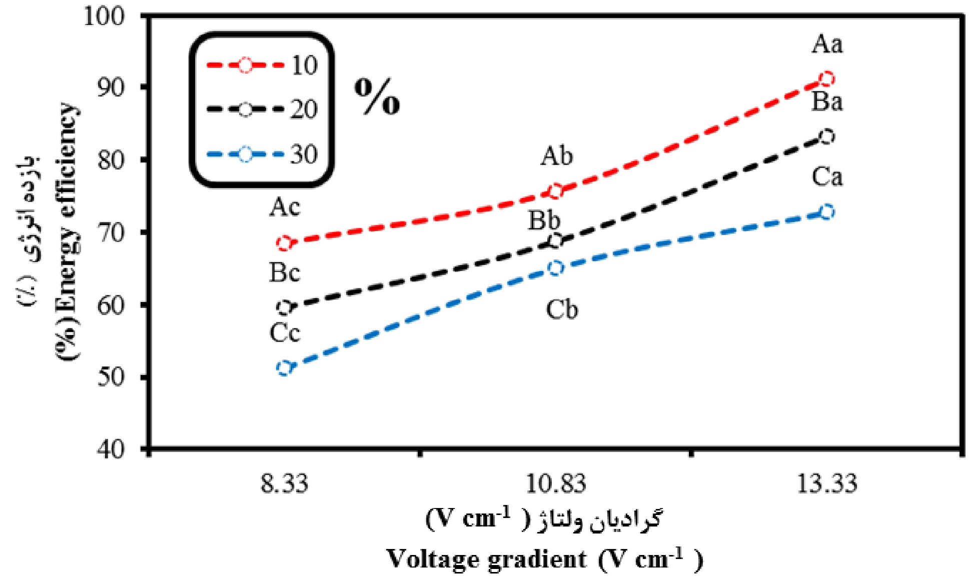
Table 1- Analysis of variance of energy efficiency, exergy efficiency, exergy loss and improvement potential

		بازده انرژی Energy efficiency		بازده اکسرژی Exergy efficiency	
	DF	Mean square	F value	Mean square	F value
گرادیان ولتاژ Voltage gradient	2	1363.387	219.91**	390.352	19.98**
درصد کاهش وزن percent of the total weight loss	2	483.75	77.09**	608.610	297.11**
درصد کاهش وزن×گرادیان ولتاژ Voltage gradient× percent of the total weight loss	4	4.81	7.75**	42.58	20.8**
خطا Error	17		0.0621		0.204
		پتانسیل بهبود Improvement potential		اکسرژی تلف‌شده Exergy loss	
گرادیان ولتاژ Voltage gradient	2	7.916	37.52**	9.344	28.1**
درصد کاهش وزن percent of the total weight loss	2	7.289	34.75**	0.787	29.5**
درصد کاهش وزن×گرادیان ولتاژ Voltage gradient× percent of the total weight loss	4	0.172	8.20**	0.902	2.72**
خطا Error	17		0.0210		0.0331

بازده انرژی

در شکل ۳ برای بازده انرژی، اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن نشان داده‌شده است که با توجه به نتایج، در یک گرادیان ولتاژ ثابت، با کم شدن درصد کاهش وزن، میزان بازده انرژی افزایش‌یافته است. با توجه به شکل ۳ بیشترین مقدار بازده انرژی ۹۱/۱۶٪ در گرادیان ولتاژ ۱۳/۳۳ $V\ cm^{-1}$ و درصد کاهش وزن ۱۰٪ و کمترین مقدار ۵۱/۱۷٪ در گرادیان ولتاژ ۸/۳۳ $V\ cm^{-1}$ و درصد کاهش ۳۰٪ بوده است. همچنین در یک گرادیان ولتاژ ثابت بین

درصد کاهش وزن‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشته است و این اتفاق در یک درصد کاهش وزن ثابت برای گرادیان‌های ولتاژ نیز مشاهده‌شده است و هریک از گرادیان‌های ولتاژ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشته‌اند. هرچه میزان درصد کاهش وزن کمتر باشد زمان فرآیند نیز کمتر خواهد بود؛ و با افزایش ولتاژ نیز میزان مدت‌زمان کاهش وزن نیز کمتر شده است که دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که افزایش ولتاژ سبب افزایش میزان دمای نمونه شده و ازاین‌رو میزان تبخیر سریع‌تر و با سرعت بیشتری در نمونه اتفاق خواهد افتاد که نتایج به‌دست‌آمده مشابه نتایج درویشی و همکاران (۲۰۱۵) بر روی تولید رب گوجه‌فرنگی بوده است (Darvishi *et al.*, 2015).

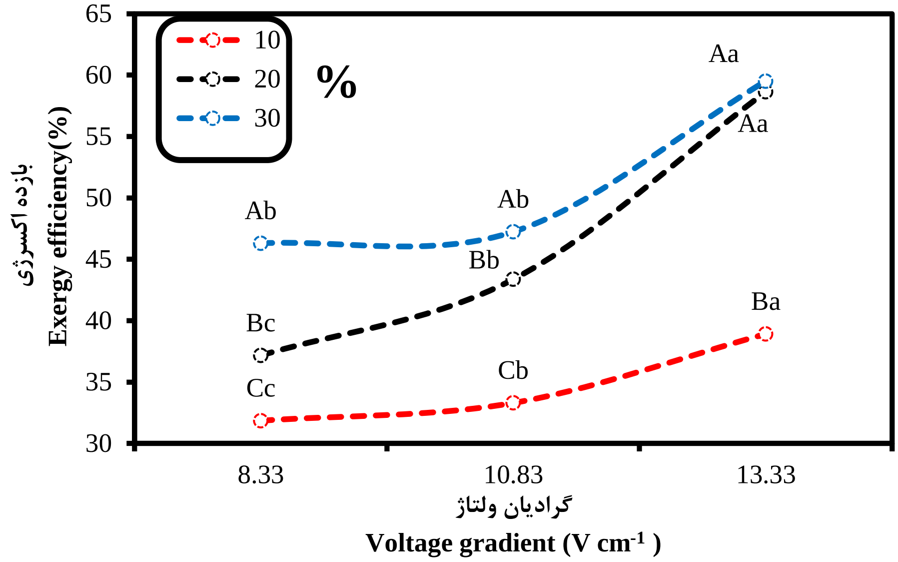


شکل ۳– اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی بازده انرژی

Fig.3. Interaction of voltage and weight percentage on energy efficiency

بازده اکسرژی

اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای بازده اکسرژی در شکل ۴ نشان داده‌شده است که با توجه به شکل، با افزایش گرادیان ولتاژ میزان بازده اکسرژی افزایش‌یافته است و این مورد در تمامی درصد کاهش وزن مشاهده می‌شود. در شکل ۴ بیشترین مقدار بازده اکسرژی ۵۹/۵۱٪ در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۱۳/۳۳ و درصد کاهش وزن ۳۰٪ و کمترین مقدار ۳۱/۸۵٪ در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ و درصد کاهش وزن ۱۰٪ مشاهده‌شده است. در یک درصد کاهش وزن ثابت تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری بین تمامی گرادیان‌های ولتاژ مشاهده‌شده است همچنین در یک گرادیان ولتاژ ثابت برای $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ و ۱۰/۸۳ بین درصد کاهش وزن‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده‌شده است اما در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۱۳/۸۳ تفاوت معنی‌داری بین درصد کاهش وزن‌های ۲۰٪ و ۳۰٪ مشاهده نشده است. شاید دلیل این امر با افزایش گرادیان ولتاژ بتوان این‌گونه توجیه کرد که با افزایش گرادیان ولتاژ میزان تبادل دمایی بین مرز سیستم با محیط اطراف کاهش می‌یابد و همین کاهش، سبب افزایش میزان بازده اکسرژی دستگاه می‌گردد. همچنین دلیل دیگر این امر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که انرژی الکتریکی در شروع گرمایش برای بالا بردن دمای نمونه صرف می‌شود و کار خاصی بر روی محصول انجام نمی‌شود و در این حین رطوبت بسیار کمی تبخیر شده که منجر به کاهش مقادیر راندمان اکسرژی می‌شود. با گذشت زمان و افزایش دمای نمونه، میزان تبخیر افزایش یافته و بنابراین منجر به افزایش راندمان اکسرژی می‌شود. همچنین بوزکارت و همکاران (۲۰۱۰) بر روی فرآیند پختن با استفاده از حرارت‌دهی اهمیک به نتایج مشابه‌ای دست یافتند (Bozkurt and Icier, 2010).

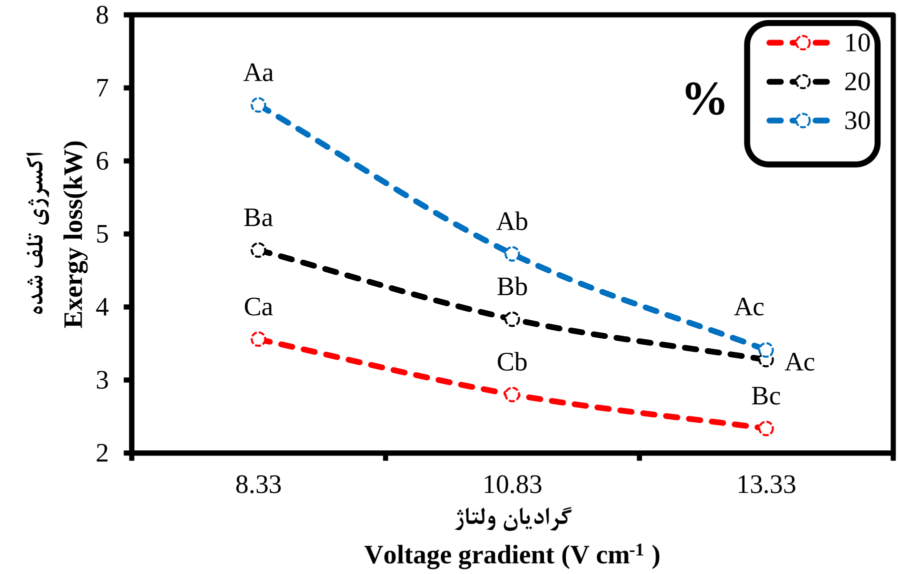


شکل ٤– اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی بازده اکسرژی

Fig.4. Interaction of voltage and weight percentage on exergy efficiency

اکسرژی تلف‌شده

در شکل ۵ نتایج اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن برای اکسرژی تلف‌شده نشان داده‌شده است که با توجه به آن با افزایش میزان گرادیان برای هر درصد کاهش وزن میزان اکسرژی تلف‌شده کاهش پیداکرده است و در یک گرادیان ولتاژ ثابت، با افزایش درصد کاهش وزن، اکسرژی تلف‌شده افزایش‌یافته است؛ کاهش زمان فرآیند حرارت‌دهی و یکنواخت کردن دما در نقاط مختلف توسط این فرآیند سبب این شده است که کمترین میزان اکسرژی تلف‌شده و تولید آنتروپی را داشته باشیم که همین امر به معنی افزایش بازده اکسرژی سیستم بوده است و شاید تغییرات اکسرژی به خاطر اختلاف دما بین مرز سیستم و محیط اطراف نیز رخ دهد و در ولتاژهای بالا به دلیل این‌که سریع دمای محصول بالا می‌رود میزان تبادل دمایی با محیط اطراف به دلیل سرعت بالایی دمایی درون نمونه کاهش می‌یابد و همین امر سبب می‌شود که میزان اکسرژی تلف‌شده کاهش بیابد (Bozkurt and Icier, 2010).

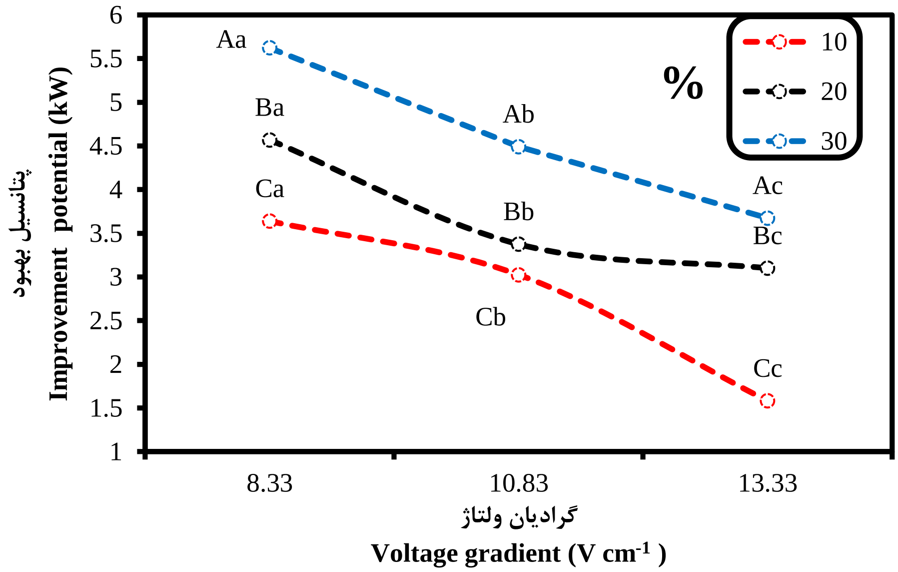


شکل ۵– اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی اکسرژی تلف‌شده

Fig.5. Interaction of voltage and weight percentage on exergy loss

پتانسیل بهبود

نتایج اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن در شکل ۶ برای پتانسیل بهبود نشان داده‌شده است. در شکل بیشترین میزان پتانسیل بهبود در $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ و درصد کاهش وزن ۳۰٪ و کمترین مقدار در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۱۳/۳۳ و درصد کاهش وزن ۱۰٪ بوده است. با توجه به شکل ۶ می‌توان مشاهده کرد که با افزایش میزان ولتاژ میزان پتانسیل بهبود، کاهش‌یافته است. دلیل این امر نیز انتقال گرمای نهان طی تبخیر در طی کاهش میزان رطوبت نمونه، نرخ تبخیر را نیز کاهش می‌دهد و همچنین در گرادیان‌های ولتاژ بالاتر، جریان عبوری از میان نمونه و قدرت میدان الکتریکی بالاتر است، درنتیجه اتلاف انرژی الکتریکی به‌صورت گرما افزایش می‌یابد که باعث افزایش میزان تبخیر در نمونه می‌شود (Darvishi *et al.*, 2015). همچنین در ابتدا به دلیل اشباع نبودن ظرفیت گرمایی نمونه گرمای به‌وجود آمده از طرف میدان الکتریکی صرف گرم شدن ماده می‌شود اما با گذشتن زمان این گرما از طریق منافذ موجود در سلول کاهش می‌یابد و باعث کاهش اکسرژی در نتیجه کاهش پتانسیل بهبود می‌شود، می‌توان با عایق‌بندی مناسب سلول ازاین پدیده به میزان قابل‌توجهی جلوگیری کرد.



شکل ٦– اثر متقابل گرادیان ولتاژ و درصد کاهش وزن بر روی پتانسیل بهبود

Fig.6. Interaction of voltage and weight percentage on improvement potential

نتیجه‌گیری

- با افزایش گرادیان ولتاژ میزان بازده انرژی افزایش یافته و بین تمامی گرادیان‌های ولتاژ تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده شده است و با افزایش گرادیان ولتاژ از $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ به ۱۰/۸۳ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۹/۴٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۱۳/۲٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۲۱/۲٪) و در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ به ۱۳/۳۳ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۲۴/۸٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۲۸/۴٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۲۹/۵٪) میزان بازده انرژی افزایش یافته است.
- برای بازده اکسرژی زمانی‌که گرادیان ولتاژ زیاد شد میزان آن نیز افزایش یافت و در تمامی درصدهای کاهش وزن تفاوت معنی‌داری بین گرادیان ولتاژ وجود داشته است و با زیاد شدن گرادیان ولتاژ از $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ به ۱۰/۸۳ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۴/۳٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۱۴/۳۱٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۱/۹۸٪) و در گرادیان ولتاژ $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ به ۱۳/۳۳ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۱۸/۱۴٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۳۶/۶۲٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۲۲/۲۰٪) میزان بازده اکسرژی افزایش داشته است.
- با افزایش گرادیان ولتاژ میزان اکسرژی تلف شده نیز به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است و با افزایش درصد کاهش وزن نیز به‌طور معنی‌داری این مقدار زیاد شده است و همچنین نتایج نشان داد که با افزایش گرادیان ولتاژ از ۸/۳۳ به ۱۰/۸۳ $V\ cm^{-1}$ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۲۶/۹۲٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۲۴/۶۸٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۴۳/۱۶٪) و با افزایش گرادیان ولتاژ از ۸/۳۳ به ۱۳/۳۳ $V\ cm^{-1}$ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۵۲/۱۶٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۴۵/۸۳٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۹۸/۲۰٪) میزان اکسرژی تلف‌شده کاهش‌یافته است.
- پتانسیل بهبود با افزایش گرادیان ولتاژ کاهش یافت و تفاوت معنی‌داری بین گرادیان‌های ولتاژ برای پتانسیل بهبود بوده و با افزایش گرادیان ولتاژ از $V\ cm^{-1}$ ۸/۳۳ به ۱۰/۸۳ در ۱۰ درصد

کاهش وزن (۲۰/۲۹٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۳۵/۲۸٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۲۵/۰۳٪) و با افزایش گرادیان ولتاژ از 8/33 V cm^{-1} به ۱۳/۳۳ در ۱۰ درصد کاهش وزن (۱۳۰/۰۸٪)– ۲۰ درصد کاهش وزن (۴۷/۳۷٪)– ۳۰ درصد کاهش وزن (۵۳/۰۸٪) میزان پتانسیل بهبود کاهش یافته است.

- اگر در فرآیند اهمیک برای خارج‌سازی رطوبت از نمونه‌ها استفاده می‌شود بهتر است بالاترین گرادیان ولتاژ انتخاب شود چرا که بازده اکسرژی که کار مفید بر روی نمونه است افزایش پیدا خواهد کرد و با افزایش گرادیان ولتاژ میزان اکسرژی تلف شده نیز کمتر خواهد بود که برای آزمایش اهمیک بهترین گرادیان ولتاژ 33/13 V cm^{-1} بود، چرا که بیشترین بازده انرژی و اکسرژی و کمترین اکسرژی تلف شده را داشته است.

References

1. Abdelmotaleb, A., M. M. El-Kholy, N. H. Abou-El-Hana, and M. A. Younis. 2009. Thin Layer Drying of Garlic Slices Using Convection and Combined (Convection - Infrared) Heating Modes. Misr Journal of Agricultural Engineering 26: 251-81.
2. Aghbashlo, M., H. Mobli, Sh. Rafiee, and A. Madadlou. 2013. A Review on Exergy Analysis of Drying Processes and Systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews 22: 1-22.
3. Azadbakht, M., H. Aghili, A. Ziaratban, and M. Vehedi Torshizi. 2017. Application of Artificial Neural Network Method to Exergy and Energy Analyses of Fluidized Bed Dryer for Potato Cubes. Energy 120: 947-58.
4. Azadbakht, M., M. Vahedi Torshizi, F. Noshad, and A. Rokhbin. 2018. Application of Artificial Neural Network Method for Prediction of Osmotic Pretreatment Based on the Energy and Exergy Analyses in Microwave Drying of Orange Slices. Energy 165: 836-45.
5. Azadbakht, M., M. Vahedi Torshizi, A. Ziaratban, and H. Aghili. 2017. Energy and Exergy Analyses during Eggplant Drying in a Fluidized Bed Dryer. International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering. 19 (3): 177-82.
6. Boldaji Torkian, M., A. M. Borghaee, B. Beheshti, and S. E. Hosseini. 2017. Investigation of Voltage Gradient and Electrode Type Effects on Processing Time, Energy Consumption and Product Quality in Production of Tomato Paste by Ohmic Heating. Journal of Agricultural Machinery 7 (1): 152-164. (In Farsi).
7. Bozkurt, H., and F. Icier. 2009a. Optimization of Ohmic Cooking of Grounded Beef-Fat Blends: Exergy Approach. Bio and Electrotechnologies 21-23.
8. Bozkurt, H., and F. Icier. 2010. Exergetic Performance Analysis of Ohmic Cooking Process. Journal of Food Engineering 100 (4): 688-95.
9. Cokgezme, O. F., S. Sabanci, M. Cevik, H. Yildiz, and F. Icier. 2017. Performance Analyses for Evaporation of Pomegranate Juice in Ohmic Heating Assisted Vacuum System. Journal of Food Engineering 207 (4): 1-9.
10. Darvishi, H., M. Azadbakht, and B. Noralahi. 2018. Experimental Performance of Mushroom Fl Uidized-Bed Drying : Effect of Osmotic Pretreatment and Air Recirculation. Renewable Energy 120: 201-8.
11. Darvishi, H., A. Hosainpour, F. Nargesi, and A. Fadavi. 2015. Exergy and Energy Analyses of Liquid Food in an Ohmic Heating Process: A Case Study of Tomato Production. Innovative Food Science and Emerging Technologies 31: 73-82.
12. Darvishi, H., A. Hosainpour, F. Nargesi, M. H. Khoshtaghaza, and H. Torang. 2011. Ohmic Processing: Temperature Dependent Electrical Conductivities of Lemon Juice. Modern Applied Science 5 (1): 209-16.
13. Darvishi, H., M. H. Khostaghaza, and Gh. Najafi. 2013. Ohmic Heating of Pomegranate Juice: Electrical Conductivity and pH Change. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 12 (2): 101-8.
14. Ghnimi, S., and N. Flach-Malaspina. 2007. Energy Efficiency of a Novel Ohmic Heating Technology by Fluid Jet Materiel and methods. Energy 49-58.
15. Halleux, D. De, G. Piette, M. Buteau, and M. Dostie. 2005. Ohmic Cooking of Processed Meats : Energy Evaluation and Food Safety Considerations. Canadian Biosystems Engineering 41-47.
16. Hammond, G. P., and A. J. Stapleton. 2001. Exergy Analysis of the United Kingdom Energy System. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy 215 (2): 141-62.
17. Han, H. Z., B. X. Li, H. Wu, and W. Shao. 2015. Multi-objective shape optimization of double pipe heat exchanger with inner corrugated tube using RSM method. International Journal of Thermal Sciences 90: 173-186. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2014.12.010.
18. Heldman, D., and M. Carmen. 2014. Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering, -2 Volume Set (Print Version). Crc Press.
19. Hepbasli, A. 2008. A Key Review on Exergetic Analysis and Assessment of Renewable Energy Resources for a Sustainable Future. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (3): 593-661.
20. Icier, F. 2009. Influence of Ohmic Heating on Rheological and Electrical Properties of Reconstituted Whey Solutions. Food and Bioproducts Processing 87 (4): 308-16.
21. Icier, F., and C. Ilicali. 2005. Temperature Dependent Electrical Conductivities of Fruit Purees during Ohmic Heating. Food Research International 38 (10): 1135-42.

22. Jindarat, W., P. Rattanadecho, and S. Vongpradubchai. 2011. Analysis of Energy Consumption in Microwave and Convective Drying Process of Multi-Layered Porous Material inside a Rectangular Wave Guide. Experimental Thermal and Fluid Science 35 (4): 728-37.
23. Mokhtarian, M., H. Tavakolipour, and A. Kalbasi-Ashtari. 2016. Energy and Exergy Analysis in Solar Drying of Pistachio with Air Recycling System. Drying Technology 34 (12): 1484-1500.
24. Moreno, J., C. Espinoza, R. Simpson, G. Petzold, H. Nuñez, and M. P. Gianelli. 2016. Application of Ohmic Heating/vacuum Impregnation Treatments and Air Drying to Develop an Apple Snack Enriched in Folic Acid. Innovative Food Science and Emerging Technologies 33: 381-86.
25. Moreno, J., R. Simpson, M. Sayas, I. Segura, O. Aldana, and S. Almonacid. 2011. Influence of Ohmic Heating and Vacuum Impregnation on the Osmotic Dehydration Kinetics and Microstructure of Pears (Cv . Packham ' S Triumph). Journal of Food Engineering 104 (4): 621-27.
26. Myers, R.H., D.C. Montgomery., and C.M. Anderson-Cook, 2009. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments 3rd Edition (3rd ed.). Wiley.
27. Sastry, sudhir k., S. Palaniappan. 1992. mathematical modeling and experimental studies on ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater. Journal of Food Process Engineering 15: 241-261.
28. Sharqawy, M., V.J.H. Lienhard, S.M. Zubair. 2010. The Thermophysical Properties of Seawater : A Review of Existing Correlations and Data Accessed Thermophysical Properties of Seawater : A Review of Existing Correlations and Data. Desalination and Water Treatment 16: 354-80.
29. Tull, A. 1996. Food and Nutrition. 3rd ed. Oxford University Press.
30. Varghese, K., M. C. Shiby, Pandey, K. Radhakrishna, and A. S. Bawa. 2012. Technology, Applications and Modelling of Ohmic Heating: A Review. Journal of Food Science and Technology 51 (10): 2304-17.
31. Zell, M., J. G. Lyng, D. J. Morgan, and D. A. Cronin. 2011. Minimising Heat Losses during Batch Ohmic Heating of Solid Food. Food and Bioproducts Processing 89 (2): 128-34.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 435-445

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۴۴۵-۴۳۵

Investigation of some Energy and Exergy Factors during Ohmic Heating Processing of Sour Orange

M. Vahedi Torshizi[1], M. Azadbakht[2*], M. Kashaninejad[3]

Received: 18-05-2019
Accepted: 17-12-2019

Introduction

Food is composed of various compounds, and when the food quality expires, it becomes inappropriate for consumption and the end of life leads to some pathogenic microorganisms in food. So food processing is essential. In recent years, various heat treatments have been considered that have various disadvantages, so researchers are looking for alternative technologies in industrial processing to overcome these problems. Electric treatments play an important role in food heating technology and one of the methods of electric thermal processing is ohmic processing, that ohmic heat is based on the flow of electricity through a product. The purpose of this study was to investigate the effect of voltage and weight loss on the amount of energy and exergy during this process in order to obtain the best amount of energy consumed during the heating process, since the most common way to heal the heating is by heating. In addition to maintaining the product's qualitative characteristics, the product has to carefully monitor its own system parameters.

Materials and Methods

The sour oranges were purchased from a garden located in the city of Gorgan, Golestan province. The prepared oranges were washed and divided into two halves in the middle and immediately after purchase, all samples of juice were taken manually in the same conditions and the samples were prepared to conduct the test during the ohmic process with voltage gradients and the percentages of different weight loss to investigate the amount of energy efficiency, exergy efficiency, exergy loss, and improvement potential during the process. For the heating process, three voltage gradients of 8.33, 10.83 and 13.33 V cm^{-1} and three percentage values of weight loss of 10% (from 90 g to 81 g), 20% (from 90 g to 72 g), and 30% (from 90 g to 63 g) were selected. Then, the energy and exergy consumed during the process were calculated and analyzed using a factorial experiment in a completely randomized design with SAS statistical software.

Results and Discussion

Based on the results, it can be concluded that the voltage gradient and weight loss percentages are significant for energy efficiency, exergy efficiency, exergy, and potential improvement at 1% level. Increasing the voltage gradient increases the efficiency of energy and exergy and reduces the potential for recovery and exergy is wasted. The highest energy efficiency was 91.6% in the 13.83 V cm^{-1} voltage gradient and the weight loss percentages 10% and the lowest value was 51.51% in the voltage gradient of 8.33 V cm^{-1} and the weight loss percentages 30%. The maximum improvement potential was 8.33 V cm^{-1} and the weight reduction was 30% and the lowest value was at 13.33 V cm^{-1} voltage gradient and 10% weight loss percentages. The highest exergy efficiency of 59.51% was found in the 13.83 V cm^{-1} voltage gradient and the weight loss percentage was 30% and the lowest value was 31.88% on a voltage gradient of 8.33 V cm^{-1} and a weight percentage of 10%.

Conclusions

- By increasing the voltage gradient, the energy efficiency had increased and there was a significant difference between all the volatility gradients.
- For exergy efficiency, when the voltage gradient increased, the exergy efficiency amount increased, and in all percentages weight loss was a significant difference between the voltage gradient.
- By increasing the voltage gradient, the amount of exergy loss decreased significantly and with increasing percentage weight loss, this amount was significantly increased.
- The improvement potential was reduced by increasing the voltage gradient and there was a significant difference between the voltage gradients for the improvement potential.

Keywords: Energy and exergy, Ohmic process, Sour orange, Statistical analysis

1- MSc Graduated, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2- Associate Professor, Department of Bio-System Mechanical Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3- Professor, Department of Food Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: azadbakht@gau.ac.ir)